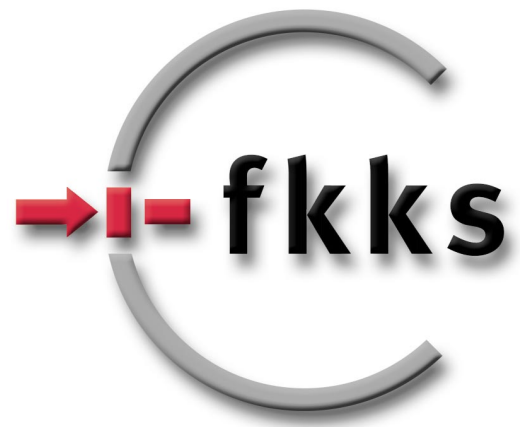


Die Mitteilungen

März 2004

Nr. 51



Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 60 04, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 27 20, Telefax (07 11) 91 99 27 77 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 60 50, 73717 Esslingen. Redaktion: Dipl.-Phys. W. v. Baeckmann, Essen, Hans J. Spieth, Esslingen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge trägt der Verfasser die Verantwortung. Nachdruck mit Quellenangabe und Übersendung von zwei Belegexemplaren erwünscht.

Korrelationsrechnung in der Korrosionsschutz-Messtechnik am Beispiel der Streustrombeeinflussung einer Ferngasleitung durch die Belgischen Staatsbahnen.

Fachreferat von Ulrich Bette, Labor für Korrosionsschutz und Elektrotechnik der Technischen Akademie Wuppertal, gehalten auf der Jahreshauptversammlung 2003 des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e. V. am 3. und 4. November 2003 in München

Der Begriff Korrelationsrechnung stammt aus der Statistik und wird im Sprachgebrauch auch mit Korrelation, Korrelationsanalyse oder lineare Regression bezeichnet.

Sie untersucht den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen bzw. im vorliegenden Fall den Zusammenhang zwischen zwei Messgrößen. Das Ergebnis der Korrelationsrechnung ist die Definition einer Regressionsgeraden in der Form $y = m \cdot x + b$ und die Angabe des Bestimmtheitsmaßes, so dass eine Aussage darüber getroffen werden kann, inwieweit die eine Größe von der anderen abhängt.

In der Korrosionsschutz-Messtechnik ergibt sich nicht jedesmal eine Regressionsgerade; aber auch in diesen Fällen lassen sich aus der Korrelationsrechnung wichtige Aussagen herleiten.

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden an der Ferngasleitung WEDAL II der WINGAS durchgeführt.

Sie verläuft von Werl zur Belgischen Grenze und schließt dort an das Netz der DISTRIGAZ an. Die Gasleitung hat eine Nennweite von DN 800, ihre Länge beträgt ca. 380 km. Die WEDAL II wird durch drei Schutzanlagen kathodisch geschützt, wobei zunächst zwei Schutzanlagen in Soest und Langenfeld gebaut wurden, und aufgrund einer veränderten Streustromsituation im Raum Aachen eine potentialregelnde Schutzanlage mit Grundstrom-



Bild 1: Lageplan WEDAL II, Raum Aachen

einstellung bei Würselen nachgerüstet wurde. Die Gasleitung besitzt eine PE-Außenhülle und hat eine mittlere Schutzstromdichte von $0,9 \mu\text{A m}^2$.

Von anderen Fernleitungen war bekannt, dass durch den Fahrbetrieb der Belgischen Staatsbahnen, deren Züge in Aachen enden, mit einer Streustrombeeinflussung gerechnet werden musste. Daher wurden vor der Verlegung der WEDAL II an den geplanten Kreuzungsstellen mit Bahngleisen die Schienenpotentiale und Schienenspannungstrichter ermittelt. Diese Untersuchungen ergaben, dass im Raum Aachen eine Beeinflussung in kathodischer Richtung zu erwarten ist,

die im zeitlichen Mittel unterhalb von 100 mV liegen wird.

Kurz nach Verlegung der WEDAL II wurde hinter der Belgischen Grenze ein neues Unterwerk in Betrieb genommen, das sowohl die Strecke Aachen-Brüssel als auch Strecken in Richtung der Niederlande speist, wodurch an der WEDAL II im Raum Aachen Streustrombeeinflussungen in nachteiliger Richtung auftraten.

Ergebnisse der Potential- und Rohrstrommessungen

Bild 1 zeigt den Verlauf der WEDAL II im Großraum Aachen. Zusätzlich ist die Lage der Messstellen IK 505 (Belgische

Inhalt

Seite 1

Korrelationsrechnung in der Korrosionsschutz-Messtechnik am Beispiel der Streustrombeeinflussung einer Ferngasleitung durch die Belgischen Staatsbahnen.

Fachreferat von Ulrich Bette, TAW.

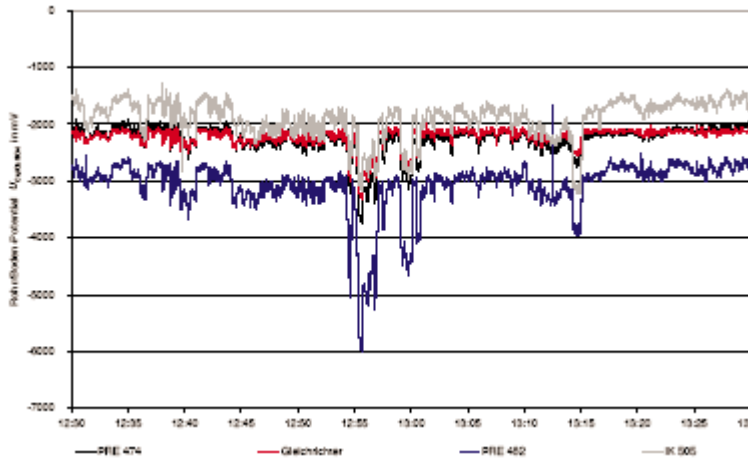


Bild 2:
Rohr/Boden-
Potentiale, WEDAL II

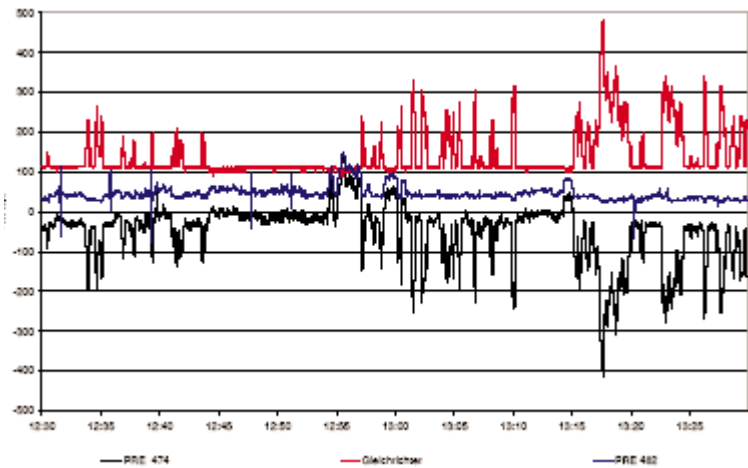


Bild 3:
Rohrströme und
Schutzstrom
Gl. Würselen

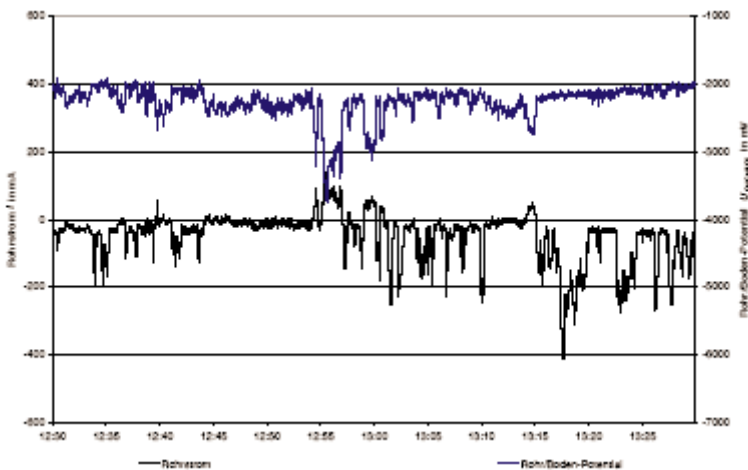


Bild4:
Rohrstrom und
Rohr/Boden-
Potential, PRE 474

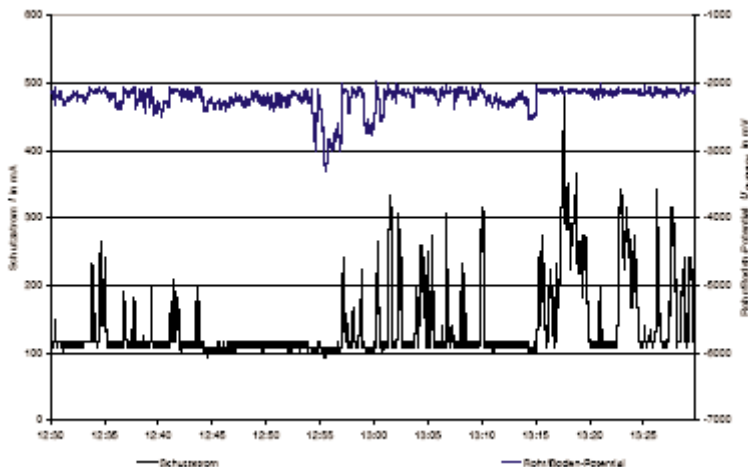


Bild 5:
Strom und
Rohr/Boden-
Potential,
Gleichrichter

Grenze), PRE 482 und PRE 474 (Rohrstrom-Messstellen beiderseits der Schutzanlage) sowie die Schutzanlage eingetragen. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf diese Messstellen. In dem Lageplan ist weiterhin der Verlauf der uns bekannten Bahn- und Industriegleise dargestellt. Um beurteilen zu können, ob die potentialregelnde Schutzanlage einschließlich der Grundstromeinstellung ordnungsgemäß funktioniert, wurden bei eingeschalteter Anlage an den o. g. Messstellen das Rohr/Boden-Potential und soweit möglich der im Rohr fließende Strom bzw. der von der Schutzanlage gespeiste Schutzstrom registriert. Hierzu wurden die Datenlogger auf eine Messrate von 2 Messungen pro Sekunde eingestellt und synchronisiert.

Die Rohr/Boden-Potentialmessungen ergaben, dass die zeitlichen Verläufe in etwa synchron sind, siehe Bild 2. In der Zeit von 12:55 Uhr bis 13:00 Uhr trat an den Messstellen eine mehr oder weniger starke Potentialverschiebung in Richtung negativerer Werte auf; zu diesem Zeitpunkt fuhr ein Zug von Aachen nach Belgien. Aber auch zu anderen Zeiten treten Potentialschwankungen auf. An der Messstelle PRE 474 und am Gleichrichter ist außerdem festzustellen, dass in der Zeit von 13:15 Uhr bis 13:30 Uhr das Rohr/Boden-Potential relativ konstant ist, während an den beiden anderen Messstellen noch Potentialänderungen auftreten.

Die zur gleichen Zeit registrierten Rohrströme sind im Bild 3 wiedergegeben. An den Messstellen PRE 474 und PRE 482 wurden die Messgeräte so angeschlossen, dass ein in Richtung Köln fließender Strom positive Messwerte ergibt. Bezogen auf die Messstelle PRE 474 bedeutet dies, dass ein zur Schutzanlage zurückfließender Strom negative Messwerte liefert.

Aus Bild 3 ist zu ersehen, dass der an der Messstelle PRE 474 fließende Strom in etwa einen gegensinnig synchronen Verlauf zu dem von der Schutzanlage gespeisten Strom hat. Es gibt aber auch Zeiten, in denen der an dieser Messstelle fließende Strom umpolt; in diesen Fällen hat er einen synchronen Verlauf zu dem an der Messstelle PRE 482 fließenden Rohrstrom, während die Schutzanlage einen konstanten Strom liefert. Weiterhin ist festzustellen, dass die Schutzanlage mindestens einen Strom von 100 mA (Grundstrom) speist; der Maximalwert beträgt 480 mA.

Um eine Aussage über den im Rohr

fließenden Strom bzw. den Schutzstrom und die Rohr/Boden-Potentiale treffen zu können, ist in den Bildern 4 bis 6 der an den einzelnen Messstellen erfasste Rohrstrom und das Potential wiedergegeben.

An den Messstellen PRE 474, Bild 4, und PRE 482, Bild 6, fließt ein Rohrstrom in Richtung Köln (positiver Strom), wenn das Rohr/Boden-Potential negativer wird, also ein Streustrom in die Fernleitung eintritt. Der Gleichrichter liefert dann den Grundstrom.

Fließt der Strom an der Messstelle PRE 474 in entgegengesetzter Richtung, d.h. zur Schutzanlage, ist das Rohr/Boden-Potential nahezu konstant. Der Gleichrichter liefert in diesem Fall einen relativ großen Strom. An der Messstelle PRE 482 ändert sich der im Rohr fließende Strom nur wenig.

Die gerade beschriebenen Zusammenhänge wurden durch Vergleich der zeitlichen Verläufe der an den Messstellen erfassten Ströme und Potentiale ermittelt. Da hierzu die Messwerte zeitgleich aufgenommen werden, können die Zusammenhänge auch durch Korrelationsrechnungen bestimmt werden.

Ergebnisse der Korrelationsrechnungen

Bild 7 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Rohrstrom und dem Rohr/Boden-Potential an der Messstelle PRE 474. Das Einschaltpotential wird auf einen Wert von -2000 mV konstant gehalten. Der zur Schutzanlage zurückfließende Strom beträgt dann -40 bis -410 mA. Wird das Rohr/Boden-Potential negativer als -2300 mV, ändert sich die Stromrichtung; es besteht dann ein direkter Zusammenhang zwischen dem Potential und dem im Rohr fließenden Strom.

An der Schutzanlage ist der gespeiste Schutzstrom im Bereich von -3300 bis -2100 mV konstant und beträgt 100 mA, siehe Bild 8. Aufgrund der Potentialregelung wird das Potential nicht positiver als -2100 mV; der gespeiste Schutzstrom beträgt maximal 480 mA. Der in Bild 8 dargestellte Zusammenhang zwischen dem gespeisten Schutzstrom und dem Rohr/Boden-Potential ist die Arbeitskennlinie der Schutzanlage und zeigt, dass sie ordnungsgemäß funktioniert.

Den Zusammenhang zwischen dem im Rohr fließenden Strom und dem Rohr/Boden-Potential an der Messstelle PRE 482 zeigt die Korrelationsrechnung Bild 9. Dort liegt ein direkter Zusammenhang zwischen dem Rohr-

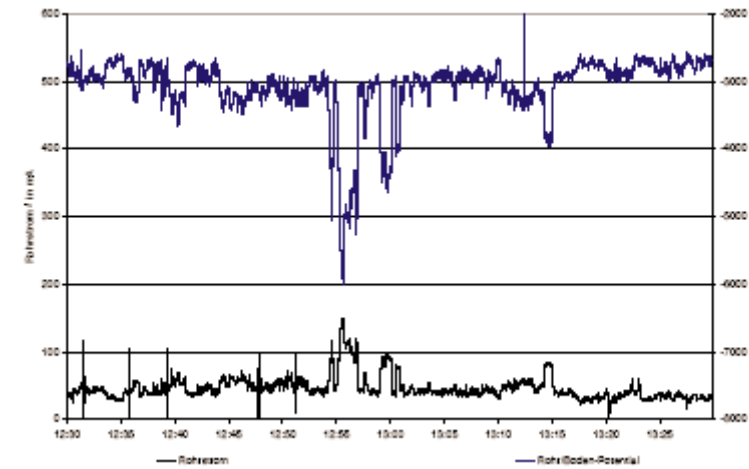


Bild 6: Rohrstrom und Rohr/Boden-Potential, PRE 482

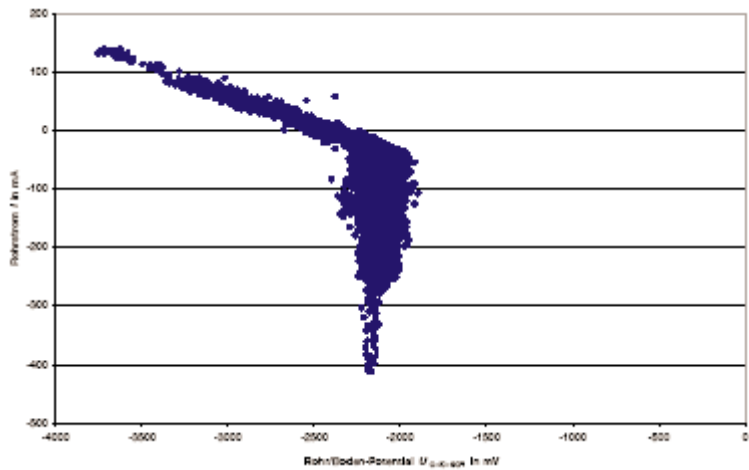


Bild 7: Rohrstrom und Rohr/Boden-Potential, PRE 474

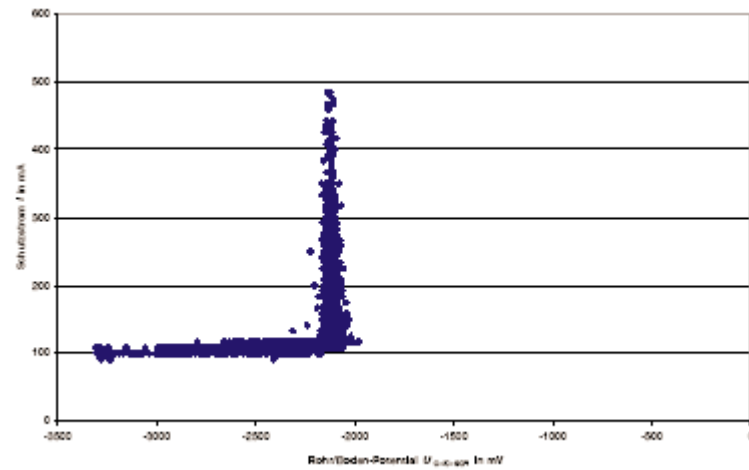


Bild 8: Strom und Rohr/Boden-Potential, Gleichrichter

strom und dem Potential vor, der durch die angegebene Gleichung der Regressionsgeraden beschrieben wird. Das Potential ist in allen Fällen negativer als -2600 mV.

Die vorgenommenen Messungen zeigen, dass im Raum Aachen Streuströme in die Fernleitung eintreten, wodurch sich das Rohr/Boden-Potential in Richtung negativerer Werte ändert. Ursprünglich wurde vermutet, dass der Streustrom im Bereich der belgischen Grenze wieder aus der Fernleitung austreten würde. Die Korrelationsrechnungen für die Mess-

stellen PRE 482 und PRE 474 zeigen jedoch das Gegenteil. Mit negativer werdendem Rohr/Boden-Potential wird der Rohrstrom positiver, d.h. dass der Strom in Richtung Köln zunimmt. Der Streustrom austritt erfolgt somit nicht im Bereich der belgischen Grenze sondern fließt über die Rohrleitungsabschnitte in Richtung Köln ab.

Wird der Zusammenhang zwischen den an den Messstellen PRE 474 und PRE 482 fließenden Rohrströmen und dem von der Schutzanlage gespeisten Schutzstrom untersucht, so ergeben sich die in Bild 10 wiedergegebenen

Bild 9:
Rohrstrom und
Rohr/Boden-
Potential, PRE 482

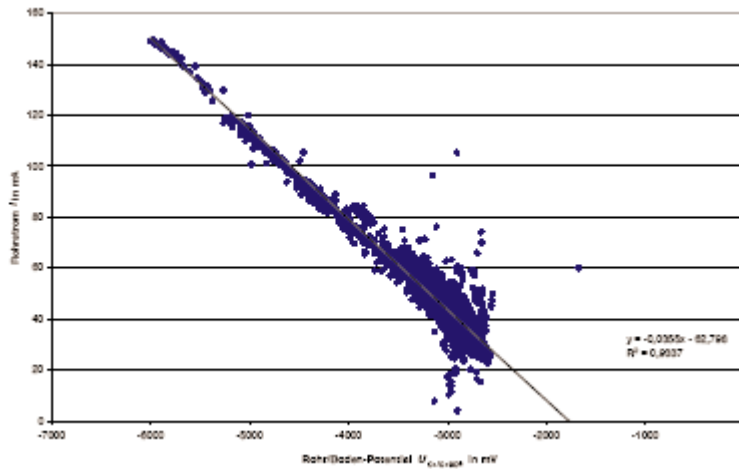
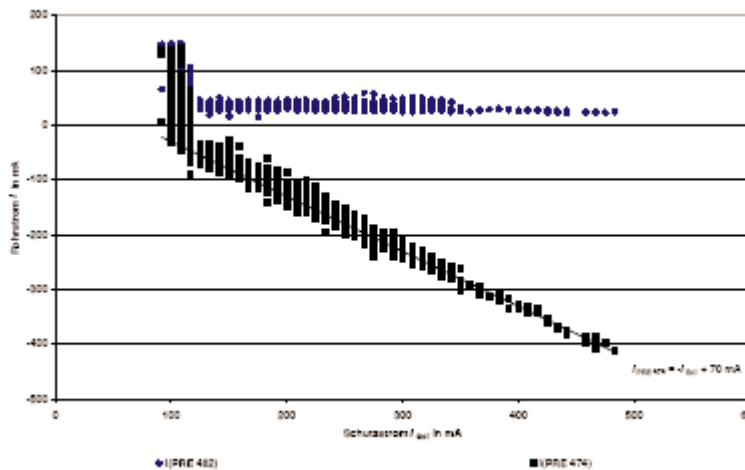


Bild 10:
Rohrströme in
Abhängigkeit vom
Schutzstrom



Zusammenhänge. Der an der Messstelle PRE 482 fließende Strom ändert sich nicht, wenn die Schutzanlage einen größeren Strom einspeist. Dieser zusätzliche Schutzstrom wird von den in Richtung Köln gelegenen Rohrabschnitten aufgenommen. In diesem Fall ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Rohrstrom PRE 474 und dem Gleichrichterstrom. Außerdem folgt aus Bild 10, dass die in die Rohrabschnitte von der Belgischen Grenze bis zur Messstelle PRE 482 eintretenden Streuströme in voller Höhe über die Messstelle PRE 474 weiter in Richtung Köln abfließen. Die Auswertung der vorgenommenen Korrelationsrechnungen ergeben zwei

unterschiedliche Streuströmsituationen: Zugfahrten von Aachen nach Belgien haben einen Streuströmeintritt in die Ferngasleitung zur Folge, der in Richtung Köln abfließt. Zugfahrten im Bereich Belgien <-----> Niederlande verursachen Streuströme, die in die Rohrleitungsabschnitte vor Aachen eintreten und durch die Schutzanlage Würselen kompensiert werden.

Schlußbemerkung

Vergleicht man die herkömmliche Auswertung der Rohrstrom- und Potentialmessungen mit den Ergebnisse der Korrelationsrechnung, so ist festzuhalten, dass die Korrelationsrechnung die

Streuströmsituation eindeutiger beschreibt und zusätzlich in einfacher Weise Informationen über die Stromrichtung und die Arbeitsweise der Schutzanlage liefert. Allgemein kann die Korrelationsrechnung in der Korrosionsschutz-Messtechnik angewendet werden, wenn die zu erfassenden Größen zeitlichen Änderungen unterliegen, also auch bei der Bewertung von Wechselspannungsbeflüßungen z. B. durch Wechselstrombahnen. Die zuvor beschriebenen Korrelationsrechnungen wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel durchgeführt, können aber auch mit anderen Analyseprogrammen vorgenommen werden. Bei Verwendung von Excel ist anzumerken, dass die Standardinstallation nicht alle erforderlichen Zusatzprogramme beinhaltet. So müssen z. B. die Add-Ins Analyse-Funktionen und Solver installiert werden. Die miteinander zu vergleichenden Messgrößen werden in getrennte Spalten einer Excel-Datei kopiert und markiert.

Die erste markierte Spalte ist die Bezugsgröße (diese wird im Diagramm auf der x-Achse dargestellt) und die zweite bzw. folgenden markierten Spalten sind die Messgrößen, deren Abhängigkeit untersucht werden soll (diese Messgrößen werden auf der y-Achse dargestellt). Nachdem die Spalten markiert wurden, wird in der Menüleiste Einfügen und danach Diagramm ... Punkt (XY) ... Untertyp: Punkte angeklickt und das Diagramm erstellt. Ist ein direkter linearer Zusammenhang ersichtlich, so kann die Regressionsgerade wie folgt erstellt werden: Markieren der Datenmenge im Diagramm; mit der zweiten Maustaste Trendlinie hinzufügen wählen, anschließend den Trend-/Regressionsstyp auswählen und die Karteikarte Option anklicken. Dort kann Formel im Diagramm darstellen und Bestimmtheitsmaß im Diagramm darstellen angeklickt werden.

Herr Oberingenieur Peter Pickelmann verstorben

Der langjährige Vorsitzende des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. und Träger der Kuhn-Ehrenmedaille, Herr Oberingenieur Peter Pickelmann, verstarb im Februar 2004 in Stuttgart.

Als Pionier in verantwortlicher Stellung war er zeitlebens der Sache des kathodischen Korrosionsschutzes verbunden und als langjähriger Vorstand und Kuhn-Medaillenträger war er prägend im Verband tätig.

Wir nehmen in größter Hochachtung Abschied und werden ihm stets ein ehrendes Gedenken bewahren.

